

Störreflexunterdrückung durch Modulation der Laserwellenlänge bei der interferometrischen Vermessung der Oberflächen von transparenten Planparallelplatten

Stefan Schulte, Bernd Dörband, Henriette Müller, Wolfgang Kähler

Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen

<mailto:s.schulte@smt.zeiss.com>

Es wird ein alternatives Verfahren zur Passmessung an Planparallelplatten vorgestellt, wobei durch Modulation der Laserwellenlänge während der Integrationszeit der Interferometerkamera ein scheinbares Spektrum erzeugt wird. Die Alternativen Weisslichtinterferometer, Ablackieren oder Dreistrahlinterferenzauswertung sind ungenauer oder an dieser Stelle aufwendiger.

1 Einführung

Mit einem ECDL (External Cavity Laser Diode) als Lichtquelle eines Fizeau-Interferometers kann man während der Integrationszeit der Kamera einen bestimmten spektralen Verlauf durchfahren und somit ein scheinbares Spektrum erzeugen. Dieses Prinzip kann man ausnutzen, um gezielt den Kontrast für die beiden Störkavitäten x_1 und x_2 , die in der Messanordnung vorhanden sind (siehe Abb. 1), zu unterdrücken.

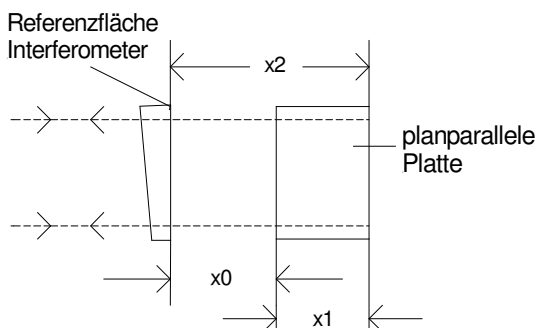


Abb. 1 Kavitäten in der Prüfanordnung

Für die Bestimmung einer geeigneten Kohärenzfunktion sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Der Interferenzkontrast für beide Störkavitäten x_1 und x_2 soll den Wert 0 haben.
- Der Interferenzkontrast für die zu messende Kavität x_0 soll möglichst groß sein.
- Es gilt die geometrische Randbedingung:

$$x_0 = x_2 - x_1 \quad (1)$$

2 Bestimmung des spektralen Verlaufs

Zur Bestimmung des zu einem geeigneten Kohärenzverlauf gehörenden Spektrums nutzt man aus, dass es sich bei der Intensität als Funktion der

Kavitätslänge $I(x)$ und dem Spektrum $A(k)$ um ein Fourierpaar handelt:

$$A(k) = FT[I(x)] \quad (2)$$

Hierbei bedeuten x die Kavitätslänge und k die Wellenzahl.

3 Bestimmung der ECDL-Ansteuerfunktion

Bei kontinuierlicher Frequenzansteuerung ist der Betrag der zeitlichen Frequenzänderung proportional zum Kehrwert der spektralen Leistungsdichteverteilung $A(k)$

$$\left| \frac{dk}{dt} \right| \sim \frac{1}{A(k)} \quad (3)$$

Aus diesem Zusammenhang kann der zeitliche Frequenzverlauf $k(t)$ berechnet werden. Bei einer diskreten Frequenzansteuerung ist die Verweildauer des ECDL bei der jeweiligen Frequenz proportional zur Frequenzamplitude.

4 Beispiele für geeignete Kohärenzfunktionen

Erzeugt man beispielsweise einen kosinusförmigen Kontrastverlauf

$$I(x) \sim \cos k_0 x \cdot \cos \Delta k x \quad (4)$$

so erhält man eine Kohärenzfunktion, die alle im ersten Abschnitt angegebenen Forderungen erfüllt. In der Praxis führen allerdings die steilen Nulldurchgänge im Kontrastverlauf zu einer hohen Justageempfindlichkeit des Prüflings. Eine Funktion mit gleichen Eigenschaften, aber zusätzlich flachen Nulldurchgängen im Kontrastverlauf erhält man mit

$$I(x) \sim \cos k_0 x \cdot \cos^2 \Delta k x \quad (5)$$

(siehe Abb. 2). Diese Funktion hat an den Nullstellen des Kontrastverlaufes die Ableitung 0.

Das zugehörige Spektrum ist in Abb. 3 dargestellt.

Abb. 4 zeigt die zugehörige Ansteuerfunktion.

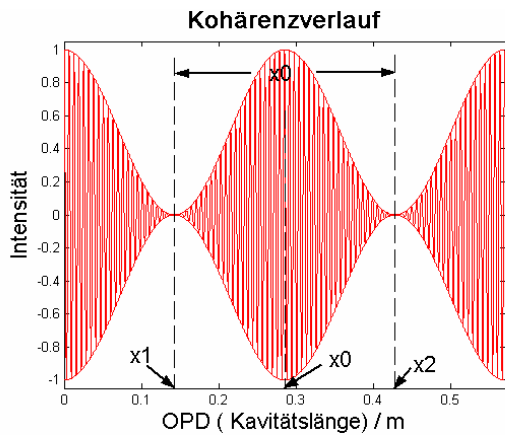


Abb. 2 Kohärenzverlauf mit flachen Nullstellen

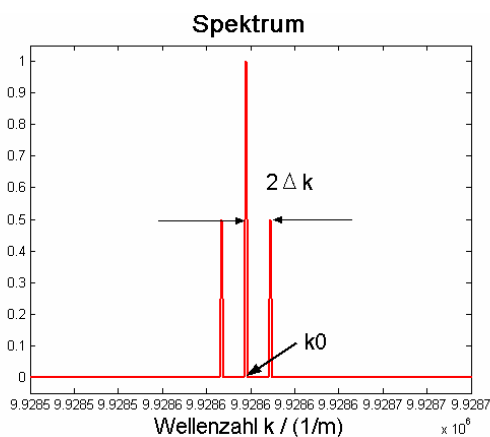


Abb. 3 Spektrum des Kohärenzverlaufs von Abb. 2

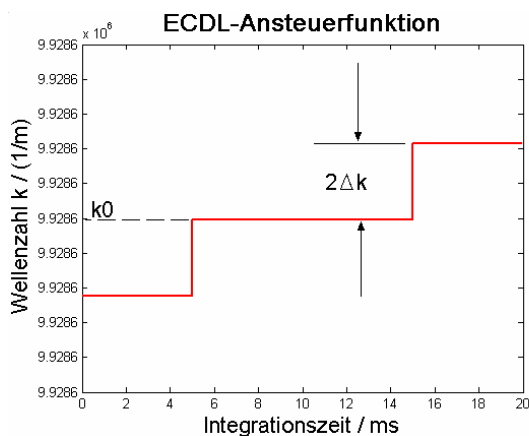


Abb. 4 Wellenzahlverlauf während der Belichtungszeit

5 Hardware

Für die Messungen wird ein mit einem geregelten ECDL ausgerüstetes Standard-Fizeau-Interferometer eingesetzt. Der ECDL ist über einen Controller mit dem PC verbunden, die Frequenzansteuerung erfolgt über eine DAC-Karte. Die Interferogrammauswertung basiert auf einer Einzelbild-

auswertung (DMI-Vielstreifentechnik). Die Ansteuerung des ECDL ist mit der Bildaufnahme synchronisiert.

6 Frequenzkalibrierung und Messung

Um Messungen aufzunehmen muss zunächst eine Frequenzkalibrierung durchgeführt werden. Dazu positioniert und justiert man zuerst den Prüfling im Strahlengang. Danach wird die Fizeauplatte verkippt, so dass nur die Reflexe von Vorder- und Rückseite des Prüflings auf die Kamera treffen. Es wird nun die Spannung U am Reglereingang des ECDL linear durchgefahren und gleichzeitig an mehreren Kamerapixeln der Intensitätsverlauf als Funktion der Regelspannung aufgenommen, woraus sich ein Phasenverlauf $\Phi(U)$ berechnen lässt. Dieser Phasenverlauf stellt die Kalibrierkurve dar. Nach dem Einschwenken der Fizeauplatte kann die Messung mit Störreflexunterdrückung gestartet werden.

7 Ergebnisse

Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse lag unter $0,05 \text{ nm}$ RMS Oberfläche. Insbesondere der Umstand, dass in der Reproduzierbarkeit keine langwelligeren Beiträge vorhanden sind, die mit der Phase der Störwellenfront korreliert sind, belegt, dass die Begrenzung der Messgenauigkeit durch die Grundgenauigkeit des Interferometers gegeben ist.

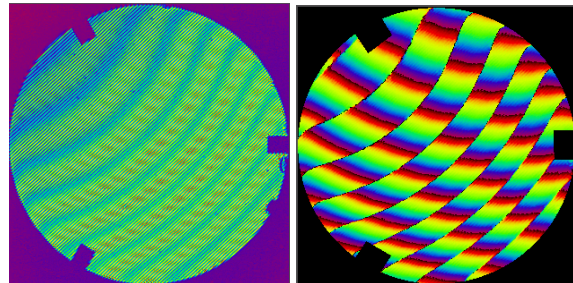


Abb. 5a

Abb. 5b

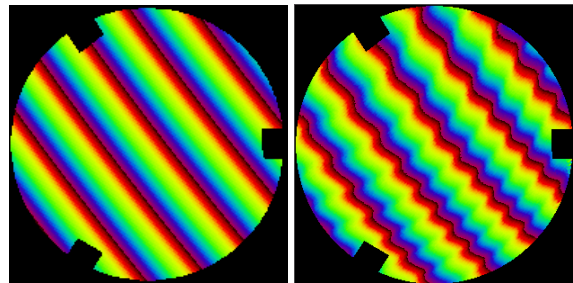


Abb. 5c

Abb. 5d

Abb. 5a: Vielstreifeninterferogramm mit Störinterferenz
 Abb. 5b: Rohphasenbild ohne Störreflexunterdrückung
 Abb. 5c: Rohphasenbild mit Störreflexunterdrückung
 Abb. 5d: Rohphasenbild bei falscher Prüflingsposition